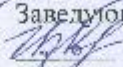


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экономики, управления и природопользования  
Кафедра экологии и природопользования

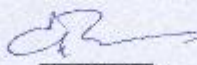
УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 С.В. Верховец  
подпись  
« 14 » 06 2016 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

05.03.02 – экология и природопользование  
05.03.02.01- Экология

Геопространственный анализ нарушенности лесов Приангарья

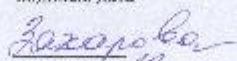
Руководитель

  
подпись, дата

17.06.2016

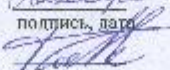
Е.И. Пономарев  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

А.Ю.Захарова  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
подпись, дата

И.Г. Гетте  
инициалы, фамилия

Красноярск 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1 Обзор научной литературы.....	5
1.1 Актуальность проблемы пожаров в РФ, Сибири и за рубежом. Теоретические аспекты горимости лесов Сибири и Приангарья.....	5
1.2 Спутниковые методы мониторинга лесных пожаров.....	7
1.3 Вероятность возникновения пожара в лесу и методы оценки пожарной опасности .....	10
1.4 Пожарная опасность территории и влияние антропогенного фактора.....	12
2 Район, объекты и методы исследования.....	14
2.1 Район исследования.....	14
2.2 Объекты и методы исследования.....	15
3 Результаты исследования.....	24
3.1 Анализ статистических данных о пожарах в лесничествах Приангарья.....	24
3.2 Закономерности развития пожарной опасности и модели сценариев.....	26
3.3 Связь модельных сценариев с уровнем горимости.....	33
3.4 Связь пожарной опасности с вырубками.....	35
Заключение.....	38
Список сокращений.....	40
Список использованных источников.....	41
Приложение А Снимки со спутника Landsat -7.....	47
Приложение Б Ряды показателя влажности ПВ-1.....	49
Приложение В Значения гидротермического коэффициента Селянинова...	51

## **ВВЕДЕНИЕ**

Промышленная эксплуатация лесов Красноярского Приангарья началась со второй половины двадцатого века, и в наше время данный регион продолжает активно развиваться. Антропогенное влияние, в том числе хозяйственное освоение территории и вырубки леса, в комплексе с наблюдающимися и прогнозируемыми изменениями климата позволяют предполагать увеличение горимости лесов, что может оказать существенное влияние на экосистемы.

Проблема нарушенности лесов в Приангарье особенно актуальна в последние десятилетия, так как территория подвергается активному хозяйственному использованию лесов и значимому воздействию пожаров растительности.

Тема выпускной квалификационной работы "Геопространственный анализ нарушенности лесов Приангарья" является актуальной, так как направлена на развитие системы комплексного мониторинга и прогнозирования пожароопасной ситуации и горимости региона.

Цель работы - анализ частоты пожаров и горимости лесов Приангарья в связи с метеорологическими особенностями сезона и степенью нарушенности рубками.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- обобщить данные о пожарах в лесничествах Приангарья за период с 2009-2014 года;
- на основе архива метеоданных вычислить динамику рядов показателя влажности ПВ-1 для каждого сезона за период с 1990-2014 года, выявить характерные закономерности в сценариях развития пожароопасной ситуации, и построить модельные кривые для каждого сценария;

- проанализировать количественные характеристики горимости и частоты пожаров для каждого типа сценария пожарной опасности, дать прогноз горимости в случае реализации данного сценария;
- оценить влияние нарушенности лесов вырубками на частоту возникновения пожаров и площади пожаров методом сопряженного геопространственного анализа распределения пожаров и вырубок.

## **1 Обзор научной литературы**

### **1.1 Проблемы пожаров в РФ, Сибири и за рубежом. Теоретические аспекты горимости лесов Сибири и Приангарья**

Россия является лесной державой, на ее территории находится 1/5 часть всех лесов мира, 1/2 часть всех хвойных лесов, а сами леса занимают около 50 % всей площади страны и составляют 1,2 млрд га. [1,2].

Лесные пожары являются мощным природным и антропогенным фактором, существенно изменяющим функционирование и состояние лесов [3].

По официальным данным на территории лесного фонда России ежегодно регистрируется от 10 до 35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 0,5 до 2,5 млн га. С учетом горимости огромного количества лесов на неохраемых и эпизодически охраняемых территориях северных районов Сибири и Дальнего Востока общая величина пройденной огнем площади составляет от 2,0 до 5,5 млн га [4]. Но по данным спутникового мониторинга количество и площадь пожаров в десятки раз больше, регистрируемых официально. Существуют так же и другие данные. Российские и зарубежные эксперты приводят оценки ежегодной площади пожаров в России на уровне 2-17 млн га [5,6].

Для того чтобы иметь полную информацию, которая будет реально отражать статистику данных о лесных пожарах необходимо использовать спутниковый мониторинг, который даст более точные цифры о количестве и площади, пройденных огнем, так как в России существуют территории, наблюдение за которыми, возможно, только с помощью спутников, например, к ним относят территории севера.

Главенствующими факторами гибели лесов являются пожары, но так же леса страдают от воздействия неблагоприятных погодных условий, от повреждения вредными насекомыми, болезней и антропогенных факторов [7].

Помимо влияния на здоровье населения, природные пожары являются важным экологическим фактором, оказывающим влияние на биоразнообразие, возрастную структуру древостоев, соотношение видов, и в целом на состояние лесных экосистем.

Вид и характер лесного пожара зависят от типа леса. Для сосновых боров с напочвенным покровом из мхов, лишайников, брусники, характерны низовые пожары. В большинстве типов еловых и особенно елово-пихтовых лесов с мощной подстилкой и грубым гумусом низовой пожар может полностью сжигать напочвенную органику, возможны также верховые пожары. Возникновению и распространению верховых лесных пожаров препятствует разреженность леса и наличие в нем разрывов в виде болот, озер, лугов и т.д. [8].

Лесные пожары это сезонное явление. Первые пожары начинают регистрироваться со времени схода снежного покрова весной и продолжают возникать до его появления осенью.

Проблема пожаров характерна для многих стран. В современных условиях ежегодно фиксируются массовые пожары как в бореальной зоне, так и на территориях других стран. Например, катастрофические по своим масштабам пожары возникают в Соединенных Штатах Америки, Канаде в отдельные экстремальные по метеорологическим условиям годы, лесные пожары распространялись на значительные площади. Значительное количество пожаров возникает на территории средиземноморского бассейна, к которому относятся Турция, Испания и др. Обычным природным явлением является возникновение лесных пожаров в горных районах Чили, Перу, Аргентины, Бразилии и Кубы.

Вопросы нарушенности лесов различными факторами, и анализ условий возникновения лесных пожаров и их последствий, влияния на динамику лесного покрова и сукцессии экосистем детально описаны в работах: Н.П.

Курбатского (1962, 1970); М.Д. Евдокименко (1974, 1975); В.В. Фурьева (Фурьев, Киреев, 1979; Фурьев, 1996); Н.С. Санникова (Санников, Санникова, 1985; Санников, 1992), Э.Н. Валендика (1990); П.М. Матвеева (1992, 2006), А.В. Волокитиной, М.А. Софронова (2002); Л.В. Буряк с соавт. (2003); Г.А. Ивановой с соавт. (2004); В.А. Соколова и С.К. Фарбера (2006), П.А. Цветкова (2005).

В работах многих авторов, таких как Криштофович, Побединский, Попов отмечается, что лесные пожары в Приангарье существенно изменили облик таежных лесов. На территориях Среднесибирского плоскогорья произошла смена темнохвойных на светлохвойные, образовались обширные площади производных лиственных лесов.

Бореальные леса несут на себе отпечаток длительных воздействий пожаров, которые сыграли значительную роль в формировании облика современной растительности. В настоящее время в Сибири нет насаждений, которые не имели бы следов одного или нескольких пожаров [9].

До 95% площади ежегодно возникающих пожаров приходится, как правило, на несколько регионов с экстремальными погодными условиями, где возникают чрезвычайные погодные ситуации [10]. К одному из таких регионов как раз и относится территория Приангарья.

На территории Нижнего Приангарья ежегодно регистрируется свыше 300 лесных пожаров [11].

## **1.2 Спутниковые методы мониторинга лесных пожаров**

Последнее время в России все чаще используется космический мониторинг для обнаружения лесных пожаров на малозаселенных территориях Сибири и Дальнего Востока.

С 2003 года функционирует целая система, которая получила название Информационной системой дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз) [12].

В 2005 году приказами Федерального агентства лесного хозяйства утверждены Регламент работы ИСДМ-Рослесхоз и Методические рекомендации по проведению космического мониторинга лесных пожаров на территории лесного фонда Российской Федерации, то есть данные космического мониторинга стали официальными [13].

С 2006 года ИСДМ-Рослесхоз была введена в промышленную эксплуатацию.

Главным источником оперативных дистанционных данных о пожарах на природных территориях во всем мире, в том числе у нас в России, являются американские спутники Terra (EOS AM-1) и Aqua (EOS PM-1), на которых установлены сенсоры MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Сенсоры одинаковы, орбиты спутников одинаковы, но пролетают они над каждой конкретной точкой с разницей в три часа - сначала Terra, потом Aqua.

Из-за этого второй спутник в отношении пожаров и задымления обычно гораздо более информативен: пожары достигают суточного пика активности примерно во время его пролета или несколько позднее. Сравнение снимков Terra MODIS и Aqua MODIS, на которых хорошо видны крупные свежие гари и дым от пожаров, и термоточек наглядно показывает, как быстро может меняться ситуация с лесными пожарами в сильно горящих регионах при высокой пожарной опасности по условиям погоды.

Прибор SPOT-VGT (пространственное разрешение 1,15 км), установленный на спутнике SPOT, снимки которого используются для оценки площадей, пройденных огнем, и повреждений лесов на этих площадях на основе анализа состояния растительности до и после действия пожаров [14].



Так же одним из основных спутников, использующихся в спутниковом мониторинге лесов, является Landsat 7 (пространственное разрешение 30 м в видимом, ближнем и средних инфракрасных зонах), который находится на орбите с 15 апреля 1999 года. Данный спутник позволяет получить информацию о пожарах и совершать полный постоянный мониторинг за состоянием окружающей среды (Приложение А).

Основная информация, используемая в ИСДМ-Рослесхоз:

- ежедневные информационные оперативные продукты, полученные на основе данных спутников серии NOAA (прибор AVHRR) и спутников TERRA, AQUA (прибор MODIS);
- ежедекадные информационные продукты для оценки последствий действия пожаров, полученные на основе данных спутников TERRA, AQUA (прибор MODIS) и SPOT (прибор VEGETATION);
- информационные продукты на основе данных высокого разрешения спутников SPOT, LANDSAT, Ресурс ДК (российский космический аппарат).

Существуют также недостатки в использовании системы мониторинга лесных пожаров.

До 2007 года доступ к системе был открыт, в основном, только специалистам диспетчерских пунктов баз авиационной охраны лесов, которые имели достаточный опыт и подготовку для правильного понимания и использования данных ИСДМ-Рослесхоз. После того, как пароли к системе были предоставлены широкому кругу пользователей, в том числе региональным чиновникам, в ФГУ «Авиалесоохрана» стало поступать большое количество нареканий на точность системы. Так, например, сообщалось, что часть указанных в реестре лесных пожаров в реальности отсутствуют. Детальный анализ большинства случаев выявил, что горения в указанных районах были, но они попадали либо на территории, не покрытые лесом, либо на леса других ведомств [15].

В Красноярске существует свой банк данных о лесных пожарах, формирующийся на основе спутниковых методов, который начал свою работу с 1996 года, находится он в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН.

Материалы получают посредством обработки данных спутниковых съемок NOAA/AVHRR (с 1996 г.) и Terra/Modis (с 2007 г.), выполняемой в Центре коллективного пользования Красноярского научного центра СО РАН [16].

Проблема прогнозирования параметров крупных лесных пожаров и оценки их последствий на основе информации, собранной в системах спутникового мониторинга, до сих пор не получила своего удовлетворительного решения, несмотря на ее важность для различных отраслей народного хозяйства России [17].

### **1.3 Вероятность возникновения пожара в лесу и методы оценки пожарной опасности**

В лесной пирологии принято классическое определение пожарной опасности – угроза возникновения пожара выражаемая его вероятностью [18].

Вероятность возникновения лесного пожара определяется рядом факторов, которые влияют на процесс высушивания лесных горючих материалов (ЛГМ). К таким факторам относятся повышение температуры воздуха и его относительная влажность, количество и частота выпадающих атмосферных осадков.

Большое внимание уделено организации тушения лесных пожаров не только в России, но и на территории США и Канады [19]. Идея прогнозирования параметров пожаров, а, следовательно, вероятного ущерба лесному хозяйству нашла отражение в национальных системах оценки пожарной опасности данных стран.

В этих странах определение пожарной опасности производят по факторам, которые делятся на постоянные и переменные. К постоянным

факторам относят (природная пожарная опасность): особенности лесных горючих материалов (вид, количество, состояние, размеры, структура расположения, возраст растительности), природно-климатические условия, рельеф местности, основное направление ветров, характер напочвенного покрова, степень антропогенной нагрузки, наличие природных противопожарных барьеров и заслонов (реки, озера). Переменными факторами являются (пожарная опасность по условиям погоды): влажность горючих материалов, относительная влажность и температура воздуха, скорость и направление ветра, прогнозируемое количество источников огня и вероятность загорания от них в лесу [20].

Наибольший интерес представляют разработки комплексных систем оценки пожарной опасности в лесах и прогноза динамики пожаров. В США с 1972 года существует национальная система NFDRS (National Fire Danger Rating System) по расчету индексов пожарной опасности. В Канаде используется система CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System) [21].

В России с 1967 года для определения пожарной опасности лесов используется метеорологический комплексный показатель, предложенный В.Г. Нестеровым, который включает в себя данные для вычисления такие как: температура воздуха и точка росы на 12 ч. по местному времени; количество выпавших осадков за предшествующие сутки (т. е. за период с 12 ч. предыдущего дня) [22,23].

Показатель пожарной опасности тем выше, чем продолжительнее бездождевой период. Периодически выпадающие осадки увлажняют горючий материал, тем самым снижая пожарную опасность в лесу, а при их выпадении в количестве 20 мм и более значение комплексного показателя принимается за ноль, а затем исчисляется обычным порядком.

Но на данный момент повсеместно применяется введенный позднее в практику показатель влажности (ПВ), предложенный ЛенНИИЛХом и Гидрометеоцентром. Он определяется путем ежедневного суммирования

произведения температуры воздуха (в 14 ч) на разность между температурой воздуха и точкой росы [24].

Так же в России используется гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный советским климатологом Г.Т. Селяниновым [25]. Данный показатель увлажненности территории показывает засушливость местности: увлажнение оптимальное, если  $ГТК = 1-1,5$ , избыточное – ГТК более 1,6, недостаточное – ГТК менее 1, слабое – ГТК менее 0,5.

Более подробно метод вычисления показателей ПВ-1 и ГТК представлен в разделе методы исследования.

#### **1.4 Пожарная опасность территории и влияние антропогенного фактора**

Одна из причин гибели лесов во многих регионах мира - это пожары. Пожары являются предметом всестороннего научного рассмотрения [26]. Под лесными пожарами понимают горение, стихийно распространяющееся по лесной территории [27].

Основной вклад в статистику пожаров и их влияния следует относить на долю крупных и экстремально крупных пожаров растительности. Пожары данной категории объективно характеризуют напряженность пожароопасного сезона, а уровень воздействия пожаров на территорию может характеризоваться концентрацией наиболее крупных пожаров [28].

К основным причинам возникновения лесных пожаров относят природный и антропогенный факторы. Первая причина, то есть природный фактор следует рассматривать, как появление пожара вследствие удара молнии, возгорания торфа или сухой растительности в условиях высоких температур. Антропогенным фактором пожара являются плановые поджоги на рубках, возгорание брошенных остаточных лесных горючих материалов на вырубках, оставленные костры, а так же несоблюдение правил безопасности при обращении с огнём [29].

Обычно пожары классифицируют по типу и интенсивности горения:

- 1) низовые пожары – горят подстилка и нижние ярусы растительности (высота пламени достигает 2-2,5 м, скорость распространения огня – 3-5 км/ч);
- 2) верховые пожары– огнем охвачены стволы и кроны деревьев (скорость распространения огня достигает 30 км/ч);
- 3) подземные пожары (торфяные или почвенные) – огонь распространяется в слое органического почвенного вещества, повреждая корни деревьев и нижние части стволов (скорость распространения не превышает нескольких десятков метров в сутки) [30].

Возрастание частоты пожаров происходит из-за изменяющихся климатических условий в сторону растущих температур начиная с XX столетия [31,32,33]. Но и человеческая деятельность приводит к росту числа и площади пожаров [34], и на данный момент является основной причиной появления лесных пожаров.

Леса мира это один из основных стабилизирующих элементов системы Земли, который обеспечивает практически весь сток углерода в растительные экосистемы [35,36].

Углеродный бюджет является одним из наиболее информативных показателей, отражающих физиологическое состояние, продуктивность и жизненность лесных экосистем, а также степень влияния на них основных факторов внешней среды и антропогенного воздействия [37].

Потери углерода лесами связаны с различными нарушениями, среди которых наибольшее значение имеют рубки, лесные пожары, вспышки вредителей и болезней леса, гибель насаждений от погодно-климатических факторов [38]. Поэтому очень важно проводить мониторинг лесных экосистем на всех уровнях и во всех сферах.

На возникновение пожаров большое влияние оказывает антропогенный фактор, который проявляется как прямо (уничтожение лесных территорий и

т.п.), так и косвенно (загрязнение атмосферы, изменение почвенного покрова и т.д.).

Особо остро стоит проблема лесных пожаров в освоенных регионах Приангарья, где лесная площадь, доступная для населения, представлена, в основном, вырубками. На вырубках, как правило, остается множество лесных горючих материалов (ЛГМ), которые в засушливый период являются главным фактором для возникновения пожарной обстановки.

## **2 Район, объект и методы исследования**

### **2.1 Район исследования**

Территория Нижнего Приангарья расположена в южной части Средней Сибири. По физико-географическому районированию Нижнее Приангарье включает юго-западную часть Средне-Сибирского плоскогорья, приенисейскую полосу Западно-Сибирской равнины. Рельеф района исследований представляет собой сочетание равнин, возвышенностей и плоских водоразделов [39].

Для исследования были выбраны лесничества Приангарья: Богучанское, Гремучинское, Козинское, Невонское, Хребтовское. Площадь данной территории составляет около 260 тыс. кв. км. Этот регион расположен в зоне таежных лесов с размером лесопокрытой площади почти 30 млн га., где лесистость в среднем составляет 60 % [40]. Климату территории региона свойственна высокая степень континентальности. Годовое количество осадков составляет 350-450 мм. Начало лета засушливое, в этот период наблюдается

максимум лесных пожаров. В июле-августе выпадает в 2-3 раза больше осадков, чем за весь холодный период, которые снижают пожарную опасность.

В Красноярском Приангарье сосредоточены лучшие эксплуатационные леса Сибири. Основные массивы представлены сосновыми насаждениями. На данной территории выделяются восемь групп типов леса: лишайниковая, зеленомошная, разнотравная, высокотравная (крупнотравная), папоротниково-хвощовая, долгомошная, сфагновая и травяноболотная.

Лишайниковая группа занимает около 6 % площади и представлена, в основном, сосновыми, реже лиственничными типами леса на сухих местообитаниях с каменистыми песчаными слаборазвитыми почвами. Древостои часто группово-разновозрастные.

Наибольший удельный вес имеют разнотравная и зеленомошная группы типов леса, которые представлены сосновыми и лиственничными древостоями, реже типами леса с господством березы и осины.

Высокотравная группа типов леса представлена сосновыми и лиственничными, еловыми, кедровыми и пихтовыми насаждениями на богатых почвах с хорошим проточным увлажнением.

Папоротниковая группа типов леса связана с припойменными частями рек с сезонно-мерзлотными дерново-подзолисто-глеевыми и торфянисто-перегнойно-глеевыми почвами. Лесообразующие породы ель, береза и лиственница.

Типы леса долгомошной группы занимают припойменные понижения и замкнутые котловины на водоразделах с сезонно-мерзлотными перегнойно-глеевыми почвами. Насаждения лиственничные, реже темнохвойные.

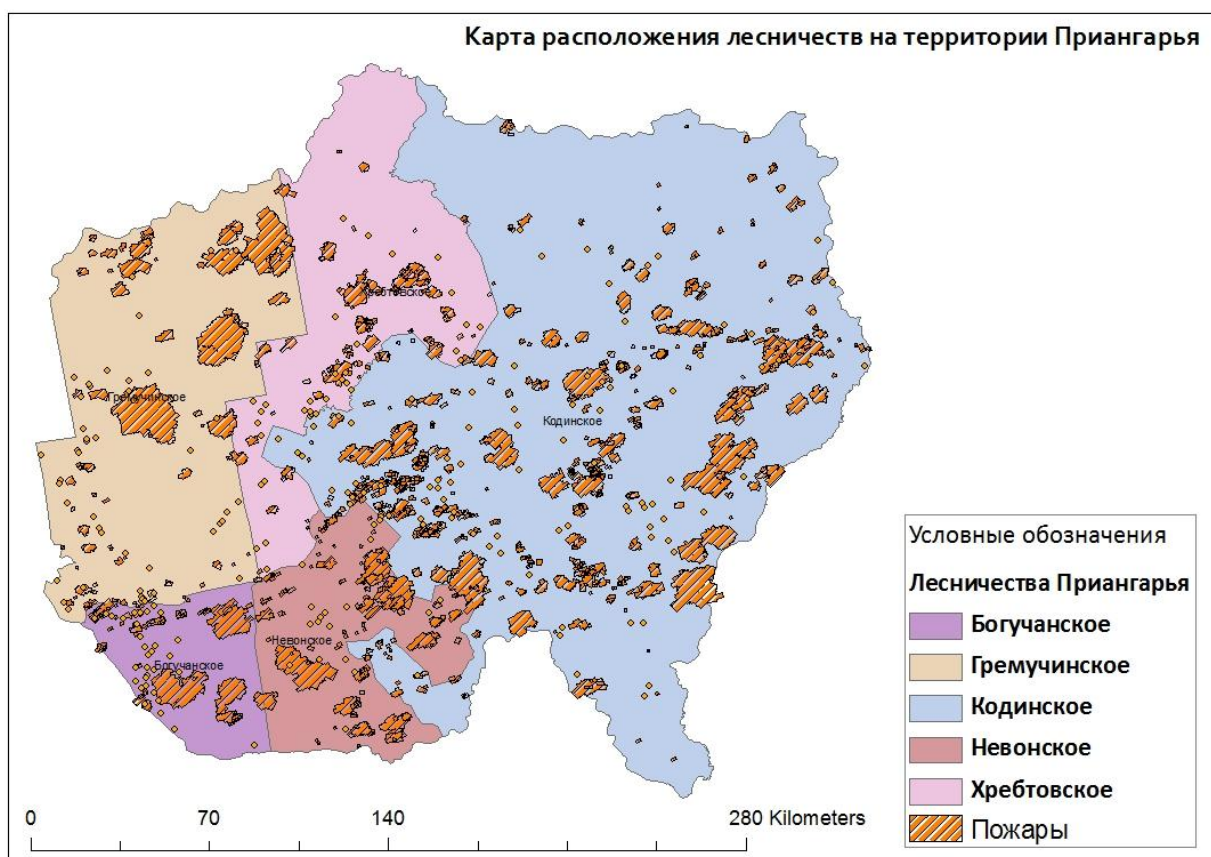
Типы леса сфагновой группы часто примыкают к долгомошным, занимая еще более переувлажненные местообитания. Основная лесообразующая порода ель, за ней следуют лиственница, сосна, кедр и береза.

Травяноболотная группа, представленная ельником осоковым и березняками осоковым и осоково-хвощевым, развивается на пониженных участках вдоль рек и на болотах.

В связи с высокой частотой, плотностью пожаров, их повторяемостью и степенью горимости основное внимание уделено Красноярскому Приангарью, южным, юго-западным и центральным районам Забайкалья, лесостепным и степным борам юга Сибири.

## 2.2 Объект и методы исследования

В качестве объектов исследований были выбраны пожары в сосновых, лиственничных и смешанных светлохвойных насаждениях, а так же вырубки на территории лесничеств Приангарья (Богучанское, Кординское, Невонское, Гремучинское, Хребтовское) (рисунок 1).





## Рисунок 1 – Расположение лесничеств на территории Нижнего Приангарья

Данные насаждения выбраны в связи с их высокой природной пожарной опасностью, приуроченностью к местам с большей плотностью народонаселения и, соответственно, более высокой степенью горимости [41,42]. Значительная доля площади региона приходится на нарушенные лесные экосистемы. Это связано как с прямым хозяйственным освоением лесов, интенсивными лесозаготовками, часто несанкционированными, так и с воздействием на них пожаров. Увеличение площадей с нарушенными лесными экосистемами ведет к возрастанию природной пожарной опасности и, как следствие, росту частоты пожаров и горимости лесов, а значительная захламленность таких территорий – к усугублению отрицательных последствий огневого воздействия.

В связи с этим, очень важно проводить постоянный мониторинг территории и изучать какие-либо изменения, происходящие в окружающей среде.

Для реализации поставленных задач были проведены следующие работы. Используя архив погоды, взятый с метеорологического сайта [gr5.ru](http://gr5.ru) для мст. Богучаны [43] и базу данных Института леса, и с помощью программы Excel были произведены вычисления показателей ПВ-1 и ГТК за период 1990 - 2014 года, и составлены таблицы и гистограммы, по которым можно оценить пожарную обстановку на территории Приангарья.

База метеоданных включала ежемесячную информацию (с мая по сентябрь) за каждый исследуемый год (1990-2014 гг.). Для вычисления показателей ГТК и ПВ-1 были использованы следующие характеристики: температура, температура точки росы и осадки.

Гидротермический показатель Селянинова (ГТК) вычисляется по формуле:

$$ГТК = \frac{\Sigma r}{\Sigma t^{\circ} \times 0,1}$$

(1)

где  $\Sigma r$  – сумма осадков за период с температурами выше  $10^{\circ}\text{C}$ , мм;

$\Sigma t$  – сумма температур в градусах за то же время.

Чем ниже ГТК, тем засушливее территория. Если показатель увлажненности менее 0,5, территория характеризуется слабой влагообеспеченностью, а значит вероятность возникновения пожара возрастает.

Таблица 1 - Фрагмент таблицы вычисления ГТК

Месяц сезона	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК
<b>МАЙ</b>	207,8	15,7	0,76
<b>ИЮНЬ</b>	467,6	67,6	1,45

Показатель влажности ПВ-1 позволяет прогнозировать пожарную опасность лесов по режиму атмосферных осадков, дефициту влажности и температуре. Расчет показателя влажности начинается с даты схода устойчивого снежного покрова [44]. В этот день ПВ=0. Далее для вычисления используют формулу:

$$ПВ-1 = t_{n-1} (t_{n-1} - \tau_{n-1}) \cdot K_n \quad (2)$$

где  $t_{n-1}$ , - температура воздуха в 14 часов местного времени,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau_{n-1}$  - температура точки росы в предшествующий день на 14 часов местного времени, °С;

$K_n$  - коэффициент учета осадков, который в дни с осадками до 0,5 мм равен 1. Если осадков более 0,5 мм, то вносится поправка.

Для того чтобы определить класс пожарной опасности по условиям погоды, используют данные, которые занесены в уже устоявшиеся таблицы.

Таблица 2 – Классы пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды [45]

Класс пожарной опасности в лесах	Величина комплексного показателя	Степень пожарной опасности
I	0 ... 300	Отсутствует
II	301 ... 1000	Малая
III	1001 ... 4000	Средняя
IV	4001 ... 10000	Высокая

Таблица 3 – Фрагмент таблицы расчетов ПВ-1 в программе Excel

	A	B	C	D	E	F
1	Date	Tmc	Dwc	Pcp	ПВ1	ПВ1 с учетом осадков
2	01.05.1998	10,722	-0,556	0,000	120,92	120,92
3	02.05.1998	4,333	-5,444	1,016	163,29	163,29
4	03.05.1998	2,000	-9,056	0,000	185,40	185,40
5	04.05.1998	3,056	-1,556	0,000	199,49	199,49
6	05.05.1998	2,222	-6,722	0,508	219,37	219,37
7	06.05.1998	4,111	-7,667	0,000	267,79	267,79
8	07.05.1998	4,333	2,833	2,540	274,29	246,86
9	08.05.1998	8,444	0,167	0,508	316,75	316,75

Используя полученные данные по показателям влажности ПВ-1 все исследуемые сезоны были разделены на сценарии развития пожароопасной обстановки на территории Приангарья. Для выполнения этой задачи был

проанализирован каждый год, где определены границы величины показателя ПВ-1 по степени пожарной опасности. Установлено, что за период 1990-2014 года прослеживается три характерные границы показателя влажности ПВ-1 - это 2500, 5000 и 7500 единиц, которые были выбраны в качестве критериев выделяемых сценариев развития пожароопасной ситуации.

Для выполнения еще одной задачи была использована шкала горимости Мокеева Г.А., которая позволяет охарактеризовать горимость исследуемого региона [46].

Таблица 4 - Характеристика горимости по шкале Мокеева Г.А.

$\gamma$ , %	Характеристика
<0,01	низкая
0,01 - 0,1	средняя
0,1 - 1	высокая
> 1	чрезвычайная

Для этого необходимо произвести вычисления, которые включают в себя такие данные как суммарная площадь лесных пожаров и площадь лесов территории, и исчисляются по формуле:

$$\gamma = \frac{\sum_i S_{лп_i}}{S_{лесная}} * 100\%$$

(3)

где  $S_{\sum лп}$  - суммарная площадь лесных пожаров за сезон;

$S_{леса}$  - общая площадь охраняемых лесов.

Так же одной из важных методик в данной работе являлось вычисление частоты пожаров территории, для этого была использована, разработанная Сафроновым М.А. шкала частоты пожаров. Для вычисления требуется знать количество пожаров на территории и общую площадь лесов:

где  $N_{лп}$  - количество пожаров за сезон;

$S_{леса}$  - общая площадь охраняемых лесов;

$10^5$  га - нормированный коэффициент.

Таблица 5 - Частота пожаров по Сафронову М.А.

Частота пожаров	Характеристика
$< 0,5$	низкая
$0,6 - 2,0$	умеренная
$2,1 - 7,0$	повышенная
$7,1 - 20,0$	высокая
$> 20,1$	очень высокая

Для прогнозирования в каких пределах значений может развиваться каждый из полученных сценариев, которые подробно описаны в разделе 3, были построены модели-графики с помощью программы Excel и метода сглаживания скользящим средним. Пример модельной кривой представлен на рисунке ниже (рисунок 2).

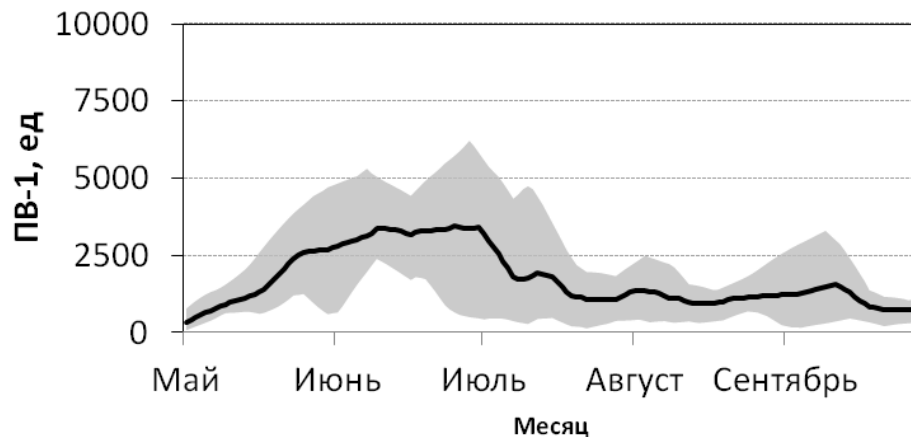


Рисунок 2 - Пример построения модели для сценария

Так же для достижения цели использовалась геоинформационная система (ГИС), которая позволяет:

- обработать спутниковые снимки (Landsat, пространственное разрешение 30 м), полученные с сайта Геологической Службы США (USGS), в комплексе с полученными данными спутникового мониторинга Института леса СО РАН;
- загрузить базу данных, которая включает в себя различные карты леса, рек, населенных пунктов, спутниковые снимки, и составить карты-схемы для исследуемого региона, далее провести анализ полученных данных.

Центральным приложением ArcGIS является ArcMap, который был использован для анализа региона исследования. ArcMap применяется для отображения и исследования наборов геоданных, с его помощью можно задавать условные обозначения, готовить карту к печати и публикации. ArcMap также является приложением, используемым для создания и редактирования наборов данных. ArcMap представляет географическую информацию как набор слоёв и прочих элементов карты [47].

Основными задачами, решаемыми в ArcMap являются:

1. Работа с картами;
2. Использование геообработки для автоматизации работы и выполнения анализа;

3. Организация баз геоданных и документов ArcGIS и управление ими — В ArcMap имеется окно Каталог (Catalog), которое позволяет организовать все наборы ГИС-данных и базы геоданных, документы карты и другие файлы ArcGIS, инструменты геообработки и множество других элементов ГИС;
4. Публикация документов карт в качестве картографических сервисов с помощью ArcGIS for Server;
5. Совместная работа с картами, слоями, моделями геообработки и базами геоданных с другими пользователями;
6. Документирование географической информации — Ключевой задачей ГИС является описание наборов географической информации для облегчения документирования проектов, а также для более эффективного поиска и совместной работы с данными.

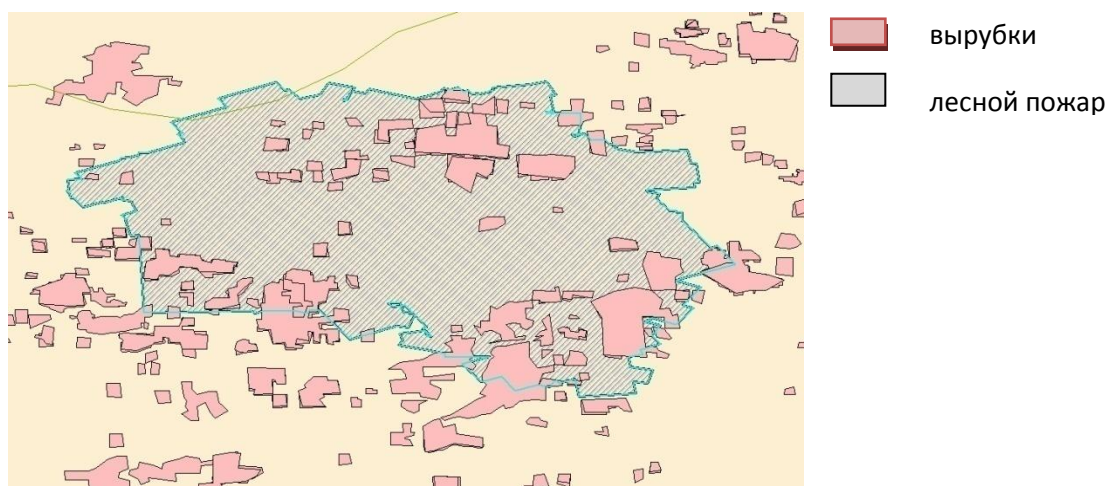


Рисунок 3 - Фрагмент работы в ArcMap

Для того чтобы проанализировать связь антропогенного фактора (вырубки) с пожарами в программу ArcMap были загружены: снимки со спутника Landsat-7, карта исследуемой территории, которая включает в себя полигоны пяти лесничеств, база данных о площади территорий, количество и площади лесных пожаров, а так же данные о вырубках за период с 1990-2014 года, что позволило произвести оценку увеличения количества и площадей

пожаров, и какое из лесничеств подвержено большему воздействию пожаров, а так же проанализировать пересечение рубок с пожарами.

На рисунке 3 представлена работа с базой данных в ArcMap, на данном фрагменте показаны вырубки и пожары на территории одного из лесничеств. Измерение особенности распространения пожаров проводилась с использованием пространственного анализа векторных слоев: полигональный слой лесных пожаров и слой, включающий в себя данные о вырубках, и их совмещения между собой, полученных по данным космической съемки.



### **3 Результаты исследования**

По данным многолетних спутниковых наблюдений пожары на территории Приангарья это частое, но сезонное явление. Начиная с 70-80-х гг. XX в. в циркумбореальной зоне и в целом на территории Сибири отмечены рост температуры, изменение режима осадков, увеличение длительности засушливых периодов [48]. Эти факторы являются основополагающими для пожароопасной обстановки. Основной ущерб лесному фонду в Нижнем Приангарье (Красноярский край) наносят пожары [49].

Повторяемость пожаров определяется широтным зонированием, а также локальными физико-географическими и климатическими особенностями.

Пожары возникают в летний период при высоких классах пожарной опасности по условиям погоды и имеют устойчивую форму.

#### **3.1 Анализ статистических данных о пожарах в лесничествах Приангарья**

После проведенных исследований о количестве пожаров в Приангарье было зафиксировано, что в последние пять лет число и площадь лесных пожаров увеличиваются. На рисунках 4-5 и в таблице 6 представлены расчеты статистических данных количества и площади пожаров для лесничеств Приангарья для некоторых исследуемых лет.

Проанализировав полученные данные на рисунках 12-13 можно сделать вывод, что периоды с наибольшим количеством пожаров в исследуемом регионе приходятся на 2011, 2012 и 2014 года. Такие результаты, связаны как с показателями ПВ-1 и ГТК, длительными засушливыми погодными условиями, которые являются условием появления крупных пожаров, так и с хозяйственной деятельностью человека. Основной причиной лесных пожаров является человек, по вине которого возникает 85–95 % случаев загораний [50].

Так же эти года характеризуются более ранним сходом снежного покрова, самая поздняя дата наличия снега приходится на конец апреля.

Таблица 6 – Количество и площадь пожаров по лесничествам Приангарья за 2009-2014 гг.

Годы	Гремучинское лесничество		Богучанское лесничество		Невонское лесничество		Хребтовское лесничество		Кодинское лесничество	
	Количество пожаров	Площадь пожаров тыс га	Количество пожаров	Площадь пожаров тыс га	Количество пожаров	Площадь пожаров тыс га	Количество пожаров	Площадь пожаров тыс га	Количество пожаров	Площадь пожаров тыс га
2009	0	0	2	1,0	14	2,3	0	0	22	6,4
2010	6	3,6	8	6,4	11	5,7	0	0	69	23,2
2011	15	88,9	6	34,1	12	29,8	21	32,7	187	230,4
2012	32	37,7	12	20,7	34	55,3	24	19	71	85
2013	10	4,9	18	5,7	29	10,6	17	24,5	48	50
2014	15	52,8	15	12,1	20	44,3	8	39,6	52	116
Всего	78	187,9	59	80	120	148	70	115,8	449	511

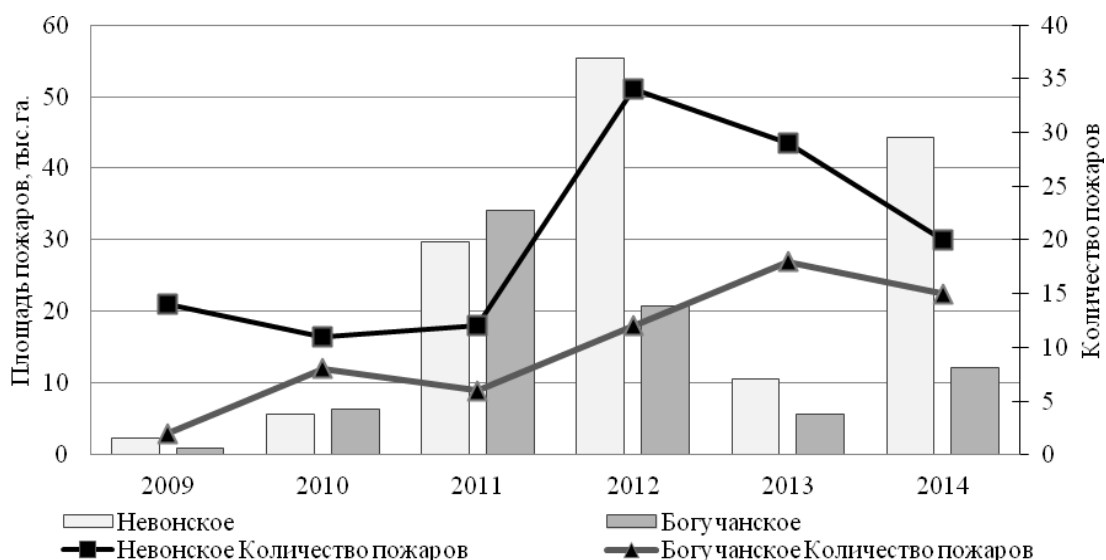


Рисунок 4 – Расчет статистических данных количества пожаров и их площади для лесничеств Богучанское и Невонское с 2009 – 2014 г.

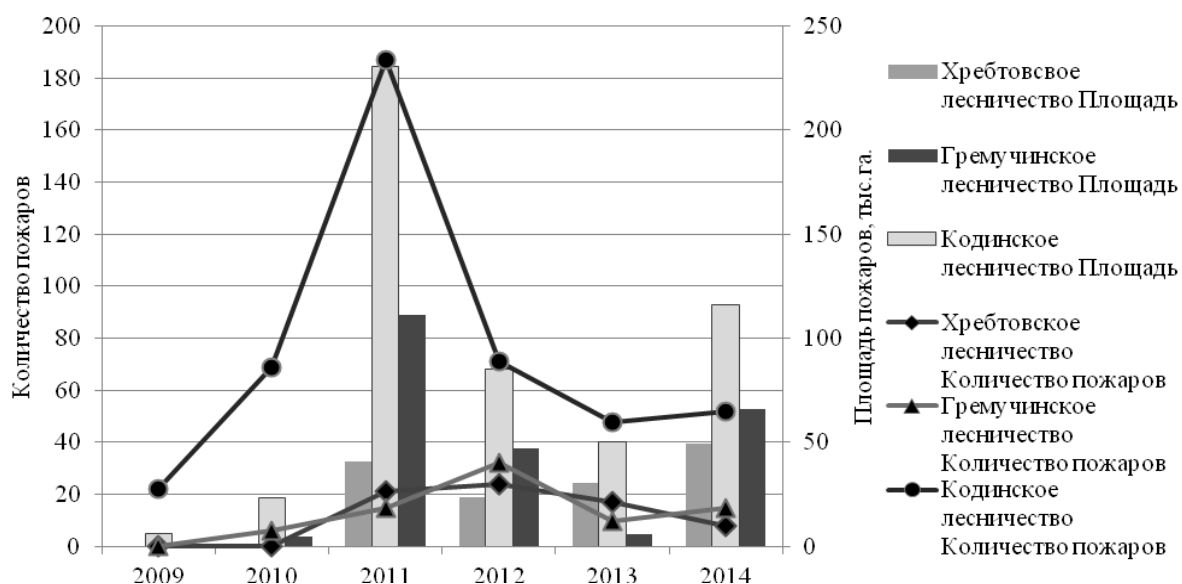


Рисунок 5 – Расчет статистических данных количества пожаров и их площади для лесничеств Кодинское, Хребтовское, Гремучинское с 2009 – 2014 г.

### 3.2 Закономерности развития пожарной опасности и модели сценариев

В данной работе для того чтобы изучить с какими именно факторами, а именно влияние природных или антропогенных носит более значимый характер на такое частое возникновение пожароопасной ситуации, был проведен анализ 25 сезонов, которые включают в себя период с 1990 - 2014 года.

В ходе исследования установлено, что на территории Приангарья за 25 лет было:

- 12 сезонов, характеризующиеся минимальными показателями ПВ-1, эти сезоны приходятся на 1992, 1993, 1997, 1998, 2001, 2002, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009, 2013 года;

- 10 сезонов со средними показателями ПВ-1, это сезоны 1990, 1991, 1994, 1995, 1999, 2000, 2006, 2010, 2011 и 2012 года.

- 3 сезона, которые получили самые максимальные значения показателя ПВ-1, то есть экстремальные периоды в плане пожарной опасности, это 1996, 2003 и 2014 года.

Для того чтобы разделить сезоны на определенные категории были посчитаны для каждого года:

- a. характерное время максимальных значений пожарной опасности в сезоне (количество дней);
- b. характерное время засухи (количество дней);
- c. период повторения данного сценария развития пожарной опасности в сезоне (количество лет);
- d. вероятность реализации возможного сценария развития пожароопасной ситуации в исследуемом регионе (%).

Результаты статистического анализа данных сведены в итоговую таблицу 7, содержащую все основные характеристики зафиксированные для выделенных сценариев пожарной опасности на основе обработки 25-ти летнего ряда наблюдений.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что территория Приангарья характеризуется тремя сценариями развития, а именно:

1. Сезон с минимальными значениями показателя ПВ-1;
2. Сезон со средними значениями показателя ПВ-1:
  - a) с максимумами в весенне-летний период;
  - б) с максимумами, приходящимися на вторую половину лета;
3. Экстремальный сезон (экстремально высокие показатели ПВ-1).

Первый сценарий развития - сезоны с минимальными значениями показателя ПВ-1. Двенадцать сезонов характеризуются низкими показателями влажности ПВ-1, которые не выходят за предел 2500 единиц, отсутствуют периоды длительной сушки, осадки равномерно распределены в течение всего пожароопасного периода, следовательно, наблюдается низкая вероятность возникновения пожара по условиям погоды. Время засухи  $5 \pm 3$  дня, характерное время достижения максимума показателя влажности  $3 \pm 2$  дня. Вероятность

реализации данного сценария 48%, а период повторяемости каждые  $3\pm 2$  года. Пример сезона с минимальными показателями ПВ-1 представлен на рисунке 6.

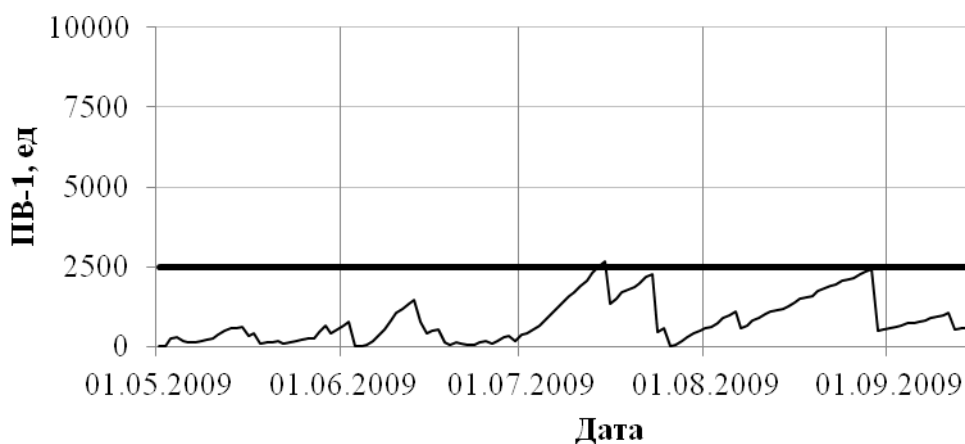


Рисунок 6 - Показатель влажности ПВ-1 за 2009 год. Пример сезона с минимальными значениями показателя ПВ-1

Из всех исследуемых лет выделяется 10 сезонов, где показатель влажности ПВ-1 достигал 5000 и выше, что позволяет отнести их ко второму типу сценария - это сезоны со средними значениями показателя влажности ПВ-1, граница которого - 5000 единиц (рисунок 7). Характерное время засухи длится почти во всех случаях  $30\pm 10$  дней. Вероятность реализации такого сценария составляет 40 %, а период повторяемости  $4\pm 2$  года. Данный сценарий можно разделить на два развития. В первом случае пожароопасный период приходится на весенне-летний период - это месяца с мая по июль, количество таких периодов составляет 4 года, характерное время максимума ПО  $5\pm 3$  дня. Второй же случай развивается во второй половине лета, то есть с середины июля по сентябрь, количество сезонов - 5 лет, характерное время максимума ПО -  $6\pm 3$  дня.

Тип N	Характеристика	Количество, год	Вероятность реализации сценария, %	Характерная длительность засухи за сезон, дни	Характерное время максимальных значений ПВ-1, дни	Период повторяемости сезона, год	Критические (пороговые) значения ПВ-1	Преобладающий класс пожарной опасности по условиям погоды
1	Сезон с минимальными значениями ПВ-1							I-III класс
2.1	Сезон со средними значениями ПВ-1 (весенне-летний период)							III-IV класс
2.2	Сезон со средними значениями ПВ-1 (вторая половина лета)							
3	Экстремальный сезон							V класс

Таблица 7 - Описание модельных сценариев пожарной опасности в Приангарье

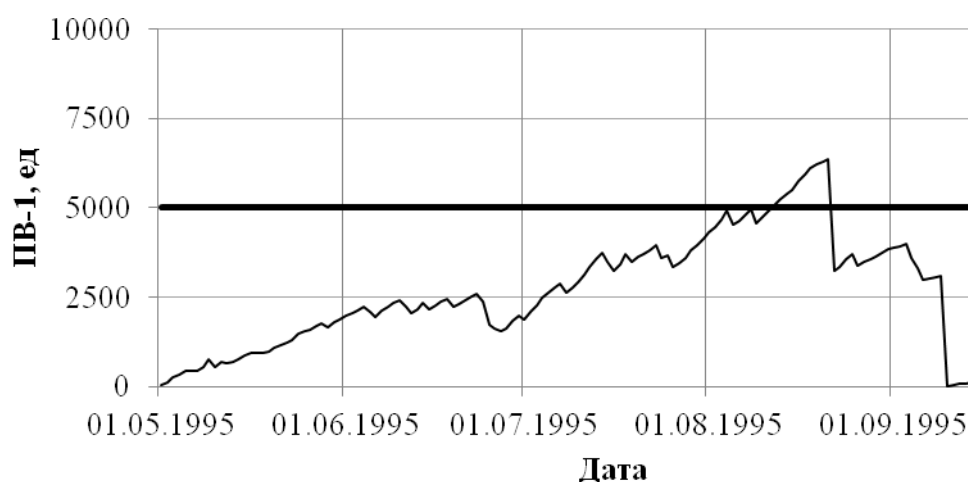


Рисунок 7 - Показатель влажности ПВ-1 за 1995 год. Пример сезона со средними значениями показателя ПВ-1 (вторая половина лета)

Третий сценарий развития - это экстремальный сезон (рисунок 8). Он включает в себя три года 1996 г, 2003 г, 2014 г. Такие сезоны характеризуются длительными засухами, дефицитом осадков, что определяет превышение показателем пожарной опасности верхней границы, соответствующей V классу пожарной опасности по условиям погоды. Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) характеризует данные периоды как сильная и очень сильная засуха (таблица 8).

Таблица 8 - Данные ГТК для третьего сценария развития

Месяц	ГТК		
	1996	2003	2014
май	0,63	0,62	0,65
июнь	0,17	0,26	0,34
июль	0,10	0,31	0,53
август	0,74	0,77	0,97
сентябрь	2,57	1,65	0,86

Условной границей (порогом) сценария является показатель 7500 единиц. Характерное время максимума пожарной опасности приходится на  $10 \pm 5$  дней, и

время засухи достигает  $45 \pm 20$  дней. Вероятность реализации экстремального сезона 12%, а период повторяемости  $7 \pm 2$  года.

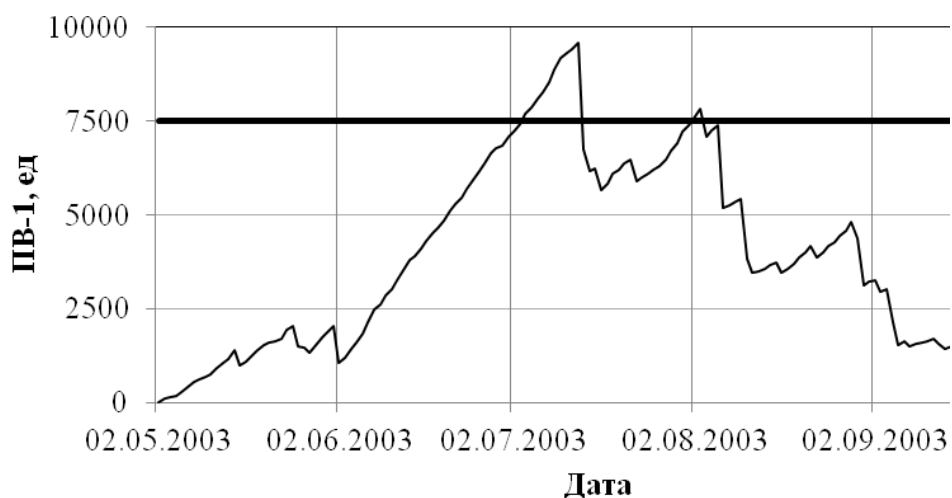


Рисунок 8 - Показатель влажности ПВ-1 за 2003 год. Пример сезона с максимальными значениями показателями ПВ-1(экстремальный сезон)

Так же используя усредненные значения сценария и метод сглаживания скользящим средним были построены модельные кривые, характеризующие закономерности развития пожароопасной обстановки в течение сезона. Модели содержат данные о средних значениях показателя пожарной опасности в течение сезона, а так же вероятные пределы варьирования значений от среднестатистического минимума до среднестатистического максимума. На основе этих модельных кривых можно выполнять краткосрочное (3-5 дней) прогнозирование развития конкретного пожароопасного сезона в заданном районе на основе известных значений показателя пожарной опасности за предыдущий период (рисунок 9-12). Кроме того получены оценки вероятности реализации сценария пожарной опасности (таблица 7), которые позволяют оценить возможность того или иного типа сезона заблаговременно.



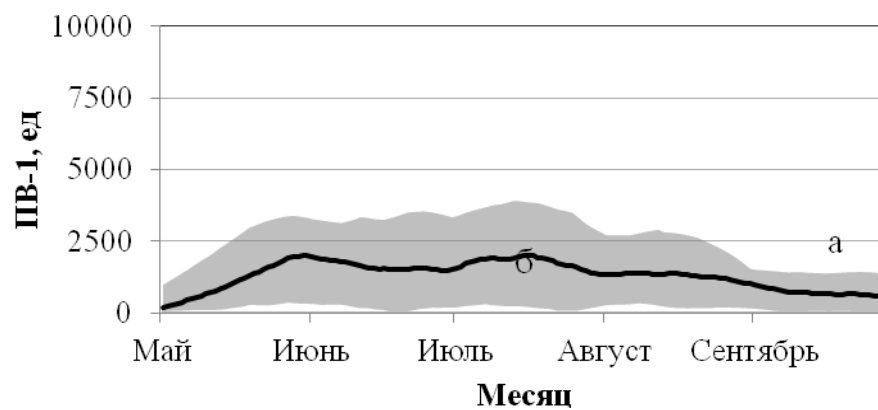


Рисунок 9 - Сценарий I типа; а - модельная кривая, б - пределы возможной вариации значений.

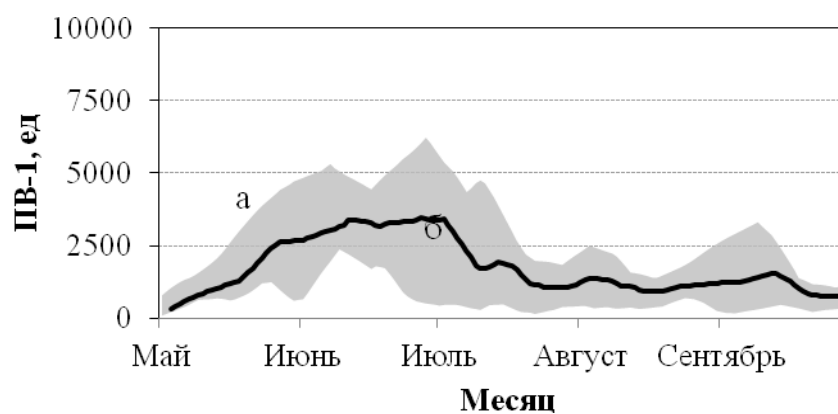


Рисунок 10 - Сценарий II типа (весенне-летний период); а - модельная кривая, б - пределы возможной вариации значений.

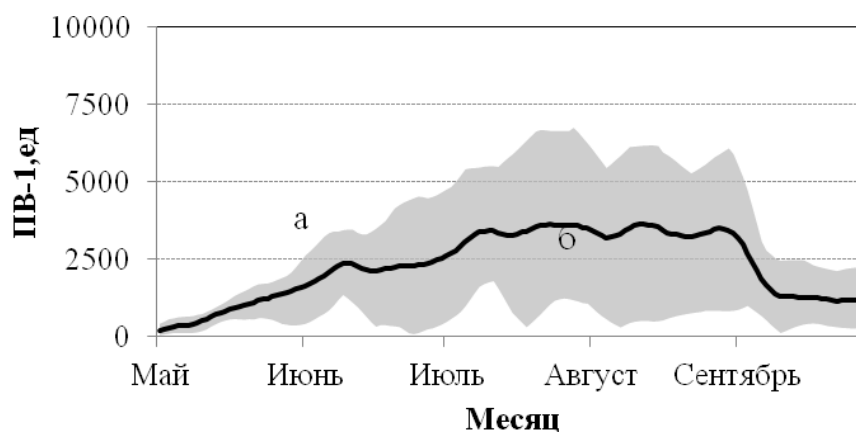


Рисунок 11 - Сценарий II типа (вторая половина лета); а - модельная кривая, б - пределы возможной вариации значений.

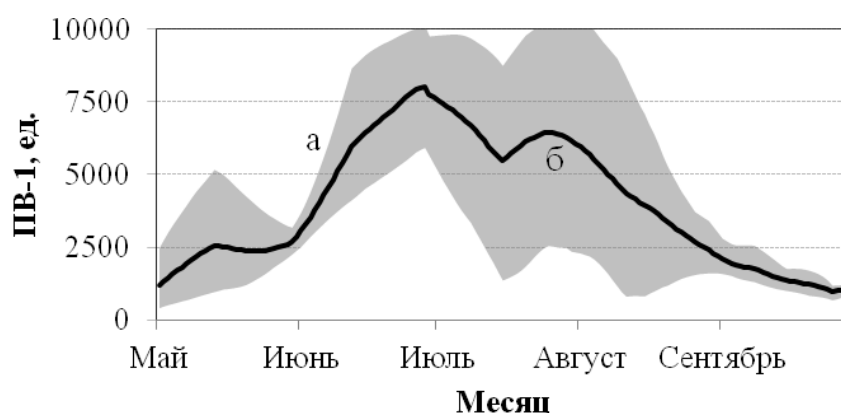


Рисунок 12 - Сценарий III типа (экстремальный); а - модельная кривая, б - пределы возможной вариации значений.

### 3.3 Связь модельных сценариев с уровнем горимости и частоты пожаров

В таблице 9 представлены полученные статистические данные, которые описывают частоту пожаров и характеризуют горимость по каждому исследуемому лесничеству, и обобщенные средние значения по лесничествам, учитывая сценарии развития сезонов.

Для того чтобы оценить частоту пожаров была использована классификация частоты пожаров по Сафронову М.А., из которой следует, что имеется тенденция к росту показателей от первого до третьего сценария. Это говорит о том, что сценарии с минимальными показателями ПВ-1 характеризуются умеренной частотой горимости по лесничествам, а в отдельные годы, например, на территории Невонского и Хребтовского лесничества, когда частота пожаров становится повышенной в сезоны с минимальными показателями ПВ-1 и ГТК, это позволяет предполагать существенное влияние антропогенного фактора.

Таблица 9 - Частота пожаров и горимость по лесничествам для различных сценариев

№ сценария	Богучанское лесничество		Гремучинское лесничество		Невонское лесничество		Кодинское лесничество		Хребтовское лесничество		Среднее значение по всем лесничествам	
	Частота пожаров	Горимость %	Частота пожаров	Горимость, %	Частота пожаров	Горимость, %	Частота пожаров	Горимость %	Частота пожаров	Горимость %	Частота пожаров	Горимость %
I												
II												
III												
Ср.знач												

Частота пожаров по Сафронову М.А.:

умеренная
повышенная

Характеристика горимости по Мокееву Г.А.:

высокая
чрезвычайная

По характеристике горимости по шкале Моисеева Г.А так же наглядно можно проследить тенденцию повышающихся значений от минимального к экстремальному сезону, от низкой до чрезвычайной горимости. Хребтовское лесничество так же как и в случае с частотой пожаров, имеет значение горимости - 2,8 %, относимое к чрезвычайной, что тоже указывает на вмешательство антропогенного фактора на возникновение и распространение пожаров.

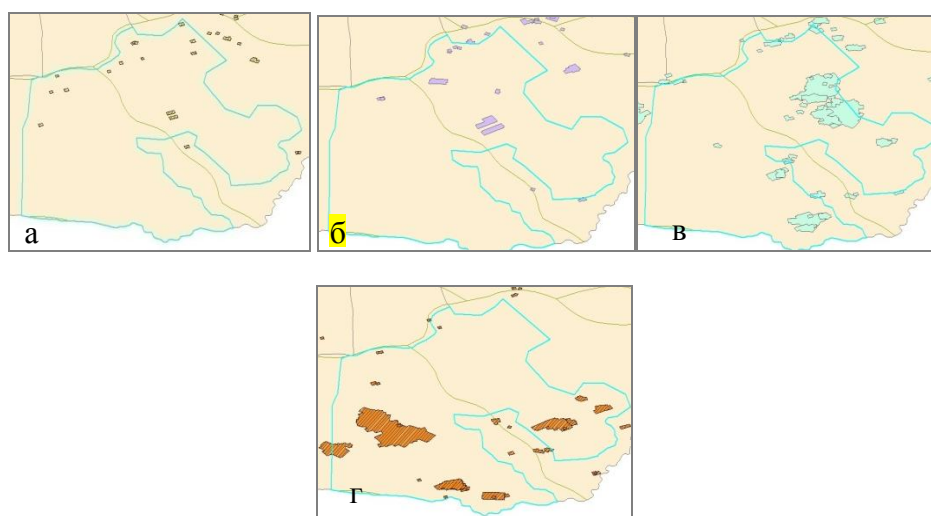


Рисунок 13 - Увеличение площади и количества пожаров на примере Невонского лесничества; а - 2009 год, б - 2010 год, в - 2013 год, г - 2014 год

На рисунке 13 прослеживается увеличение количества и площади пожаров на примере Невонского лесничества с годами, это связано как и изменяющимися погодными условиями в сторону повышения температур, времени засухи, количества осадков [51], так и от антропогенного вмешательства, которое будет рассмотрено ниже.

### 3.4 Связь пожарной опасности с вырубками

Анализ данных о пожарах (таблица 10) показывает, что в среднем  $14,7 \pm 5,5$  % количества пожаров связаны с вырубками, то есть пожары пройдены по вырубкам, это достаточно высокие показатели, которые позволяют говорить о том, что вырубки всё-таки влияют на возникновение пожаров. В данном случае ни случайные поджоги, ни грозы и другие факторы способствовали появлению пожара, а именно хозяйственная деятельность человека является причиной уничтожения лесных территорий, как прямо, так и косвенно.

Таблица 10 - Количество и площади пожаров, сопряженных с вырубками, процентное соотношение

Год	Количество пожаров за год	Суммарная площадь, га	Пожары, сопряженные с участками вырубок			
			Количество	Площадь, га	Количество, %	Площадь, %
2009						
2010						
2011						
2012						
2013						
2014						
Ср.знач.					14,7	34,4

Вырубая значительные территории лесных массивов, при этом оставляя за собой большое количество лесных горючих материалов, человек провоцирует повышение **пожароопасной обстановки**, особенно в условиях засухи, которая благоприятно влияет и на дальнейшее распространение пожара.

Так же можно заметить, что 2011, 2012, 2013 года, которые по погодным условиям относятся ко второму сценарию развития со средними показателями ПВ-1 и ГТК, и не характеризуются, как экстремальные сезоны для развития пожарной обстановки, но в итоге по количеству пожаров и уничтоженной площади идентичны показателям 2014 года, который относится к V классу

пожарной опасности по условиям погоды. Можно сделать вывод, что главным фактором распространения пожара в эти годы является антропогенный, а именно вырубки.

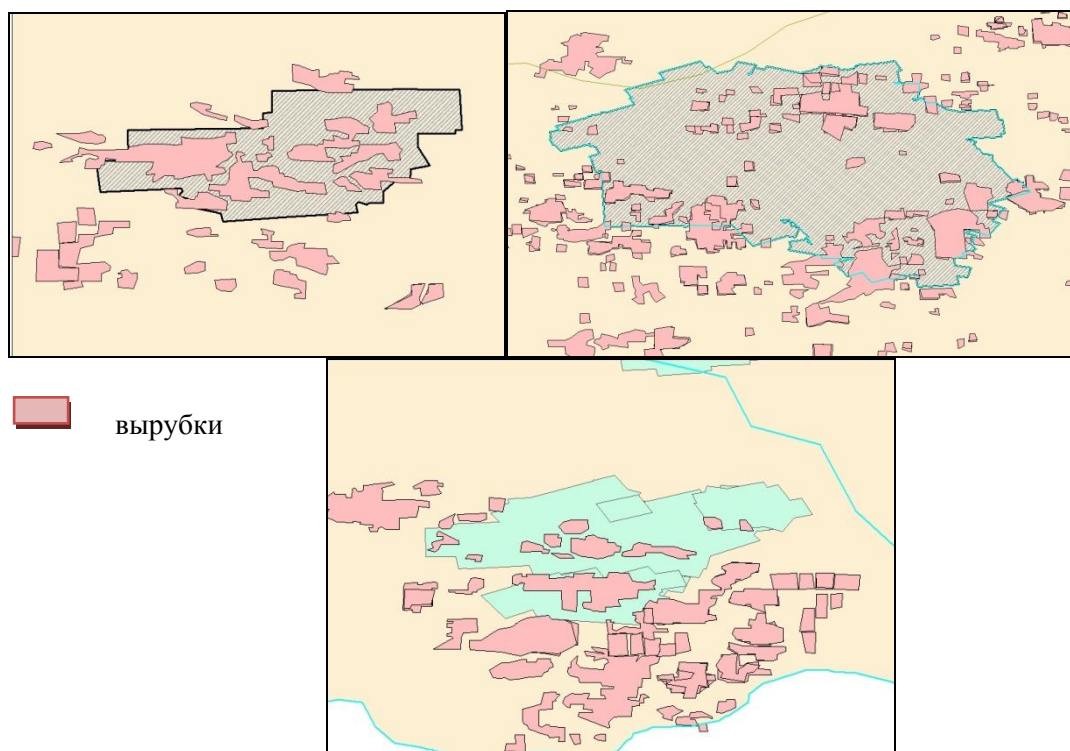


Рисунок 14 - Пожары, пройденные по вырубкам

На рисунке 14, созданном в ArcMap методом сопряженного анализа, можно увидеть, как пересекаются территории, пройденные вырубками с пожарами, которые как раз распространяются по всем пройденным участкам антропогенной хозяйственной деятельностью.

Анализируя полученные данные, можно оценить, что в регионе до 50% всех площадей пожаров связаны с прилегающими к лесным массивам вырубками. Это очень весомый показатель, который подтверждает, что вырубки наносят существенный ущерб лесам, и могут являться одной из основных причин возникновения и распространения пожаров на большие территории.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные задачи бакалаврской работы выполнены, проведен анализ частоты пожаров и горимости лесов Приангарья в связи с метеорологическими особенностями сезона и степенью нарушенности вырубками.

Получены следующие выводы:

- обобщив данные о пожарах в лесничествах Приангарья за период 2009-2014 года выявлена тенденция к росту количества и площади пожаров;

- на основе архива метеоданных вычислены ряды показателя влажности ПВ-1 для каждого сезона за период с 1990-2014 года, и выявлены характерные закономерности в сценариях развития пожароопасной ситуации, а именно на территории лесничеств Приангарья выделяется три развития сценария:

1. Сезоны с минимальными значениями показателя ПВ-1 (вероятность реализации сценария - 48%);
2. Сезоны со средними значениями показателя ПВ-1 (вероятность реализации сценария - 40%)
  - а) с максимумами в весенне-летний период;
  - б) с максимумами, приходящимися на вторую половину лета;
3. Экстремальный сезон (максимальные значения показателя ПВ-1) (вероятность реализации сценария - 12%).

Для каждого сценария была дана описательная характеристика и построены модельные кривые.

- проанализированы количественные характеристики горимости и частоты пожаров для каждого типа сценария пожарной опасности, которые имеют тенденцию к увеличению, в зависимости от реализуемого сценария (от первого до третьего типа) развития пожароопасной ситуации в регионе.

- проведена оценка влияния нарушенности лесов рубками на возникновение пожаров. В среднем  $14,7 \pm 5,5$  % количества пожаров связаны с рубками, то есть пожары пройдены по рубкам, и до 50% всех площадей

пожаров связаны с прилегающими к лесным массивам вырубками, это достаточно высокие показатели, которые позволяют говорить о том, что вырубки всё-таки влияют на возникновение пожаров.



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

1. ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова;
2. ГИС – геоинформационная система;
3. ИСДМ – информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров;
4. ЛП – лесной пожар;
5. ЛГМ – лесной горючий материал;
6. ПВ-1 – показатель влажности В.Г. Нестерова;
7. ПО – пожарная опасность;
8. Природная ПО – природная пожарная опасность;
9. Ресурс ДК – российский космический аппарат.
1. ArcGIS - геоинформационная система;
2. ArcMap - центральное приложение, используемое в ArcGIS;
3. MODIS – (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) спектрорадиометр на борту американских спутников TERRA и AQUA;
4. NOAA – (National Oceanic and Atmospheric Administration) американский спутник;
5. SPOT-VGT – (SPOT VEGETATION) прибор, установленный на спутнике SPOT.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Топольский, Н.Г. Противопожарная защита лесов России / Н.Г.Топольский, В.В. Белозеров, Н.С. Афанасьев // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". – 2010. - № 4. – С.1-2.
2. Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации в 2011 г. Леса и лесные ресурсы Российской Федерации [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru>
3. Романов, Е.М. Экология: экологический мониторинг лесных экосистем: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012.– 236 с.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской федерации. – Москва, 2014.
5. Швиденко, А.З. Влияние природных пожаров в России 1998-2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет / А.З. Швиденко., Д.Г. Щепаченко, Е.А. Ваганов, А.И. Сухинин, Ш.Ш. Максютин, И. МкКаллум, И.П. Лакида // Докл. Акад. наук. 2011. Т. 441, № 4. С.544-548.
6. Conard, S.G. Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia / S.G. Conard, A.I. Sukhinin, B.J. Stocks, D.R. Cahoon., E.P. Davidenko, G.A. Ivanova // Climatic Change, 2002, Vol.55, N 1-2. P.197-211.
7. Мелехов, И. С. Природные и антропогенные факторы горимости лесов : учебное пособие / И. С. Мелехов. - М. : [б. и.], 1983. - 60 с.
8. Мелехов, И. С. Лесоводство : учебник / И.С. Мелехов. - М. : ВО Агропромиздат, 1989. - 302 с.
9. Бузыкин, А.И. Влияние низовых пожаров на сосновые леса Среднего Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. – Красноярск, ИЛИД СО РАН СССР, 1975. – С. 141-153.

10. Исаев, А.С. Лес как национальное достояние России /А. С. Исаев, Г. Н. Коровин // Лесоведение, 2013, № 5, с. 5–12.
11. Иванов, В.А. Влияние нарушенных лесных территорий на частоту пожаров в нижнем Приангарье / В.А. Иванов, С.А. Москальченко, Е.И. Пономарев // Хвойные бореальной зоны, XXVI, № 2, 2009. - С.250.
12. Бондур, В.Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г./ГУ Научный центр аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос» Минобрнауки России и РАН, Москва / Поступила в редакцию 27.01.2011 г. – С. 2-5.
13. Пономарев, Е.И. Использование съемки со спутников серии DMC для мониторинга нарушенности лесов / Е.И. Пономарев, Л.В. Буряк // География и природные ресурсы. - 2007. - № 4. - С. 135-140.
14. Барталев, С.А. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) / С.А. Барталев, Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин, Р.В. Котельников, Е.А. Лупян, В.Е. Щетинский// Материалы четвертой всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: Институт космических исследований РАН, т. 5, № II; 2008. С. 419-429.
15. Слинкина, О.А. Картографирование текущего состояния лесов Красноярского края с использованием данных дистанционного зондирования / О.А. Слинкина, А.И. Сухинин, Л.В. Буряк // Вестник СибГАУ им. ак. М.Ф. Решетнева. Красноярск, 2008, С. 70-74.
16. Пономарев, Е.И. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов / Е.И. Пономарев, Е.Г. Швецов // Исследование Земли из космоса. Красноярск. 2015. №1. С. 84-91.
17. Доррер, Г.А. Методика оценки и прогнозирования параметров крупных лесных пожаров / Г.А. Доррер, В.С. Коморовский, С.П. Якимов. // Хвойные бореальной зоны, XXVIII, № 1 - 2, 2011., Красноярск., С.18.

18. Курбатский, Н.П. Терминология лесной пирологии. Вопросы лесной пирологии / Н.П. Курбатский // Красноярск, 1972, с.171-230.
19. Воробьев, Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ.ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭКС – ПРЕСС, 2004. – С. 5-6.
20. Козаченко, М.А. Лесные пожары и борьба с ними: учеб.пособие / Сост.: к.с.-х.н. М.А. Козаченко; под общ. ред. Соловьёва Д.А.; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И.Вавилова». – Саратов, 2013. – 200 с.
21. Stocks, B.J. Forest fire management in Canada. Reprinted from "Disaster Managment". / B.J. Stocks, A.J Simard. // V.5, N 1, 1993.
22. Долгов, А.А. Методология оценки лесопожарных рисков - основа поддержки принятия решений в кризисных ситуациях, вызванных лесными пожарами/ А.А Долгов., Е.Н Сумина // Технологии гражданской безопасности. – 2007. С.80 – 81.
23. Софронов, М.А. Пожарная опасность в природных условиях/ М.А. Софронов, И.Г. Гольдаммер, А.В. Волокитина, Т.М. Софронова// Красноярск: Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, 2005. – 330 с.
24. Цветков, П.А. Очерк истории отечественной лесной пирологии / П.А. Цветков // Сибирский лесной журнал, - 2015. Красноярск, - № 5. С. 3–25.
25. Селянинов, Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата/ Г.Т. Селянинов// В кн.: Мировой агроклиматический справочник. - Л.-М., 1937.
26. Барталев, С.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров / С.А. Барталев, Ф.В. Стыценко, В.А. Егоров, Е.А. Лупян// Лесоведение, Москва, 2015, № 2, с.83-94.
27. Лесные и торфяные пожары [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.kgau.ru/distance/00\\_cdo\\_old/demo\\_res/pozar/01\\_02.html](http://www.kgau.ru/distance/00_cdo_old/demo_res/pozar/01_02.html).
28. Пономарев, Е.И. Характеристики категорий пожаров растительности в Сибири по данным спутниковых и других наблюдений / Е. И.

Пономарев, Е. Г. Швецов //Исследование Земли из космоса, - 2013, - № 5. с. 45–54.

29. Фуряев, В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования / В. В. Фуряев. - Новосибирск: Наука, 2014. - 252 с.

30. Смирнов, А. П. Лесная пирология: Учебное пособие. / А. П. Смирнов, Е. С. Мельников // СПб: СПб ГЛТА, 2006. 60 с.

31. Двинская, М.Л. Гари в лиственничниках Средней Сибири: временные тренды и ландшафтная приуроченность / М.Л. Двинская, В.И. Харук, К.Дж.Рэнсон // Институт леса СО РАН., Красноярск., Годдардский центр космических полетов, США., - 2005., С.375.

32. Зукерт, Н.В. Прогнозные оценки погодных условий пожароопасного сезона в лесах России в XXI веке/ Н.В. Зукерт // Лесоведение, Москва, 2011. № 6, с. 86–93.

33. Коровин, Г.Н. Влияние климатических изменений на лесные пожары в России /Г.Н. Коровин, Н.В. Зукерт// Климатические изменения: взгляд из России. М.: Наука, 2001. 416 с.

34. Lehtonen, H. Forest fire history in Viena Karelia, Russia / H. Lehtonen, T. Kolström //Scand. J. For. Res.- 2000. V. 15. P. 585-590.

35. Le Quere, C. Global carbon budget 2013 / C. Le Quere, G. P. Peters, R. J. Andres // Earth Syst. Sci. Data Discuss.- 2013. N 6. P. 689–760.

36. Balzter, H. Impact of the Arctic Oscillation pattern on interannual forest fire variability in Central Siberia / H. Balzter, F.F. Gerard, C.T. George, C.S. Rowland, T.E. Jupp, I. McCallum, A. Shvidenko, S. Nilsson, A. Sukhinin, A. Onuchin, C. Schmullius. // Geophysical research. - 2005, VOL. 32. L14709. P. 1-4.

37. Швиденко, А.З. Углеродный бюджет лесов России /А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко// Сибирский лесной журнал.- 2014. - № 1. С. 69–92.

38. Замолодчиков, Д.Г. Динамика бюджета углерода России за два последних десятилетия/ Д.Г. Замолодчиков В.И. Грабовский, Г.Н. Краев //

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН., Москва, 2011. - 5 с.

39. Пармузин, Ю.П. Средняя Сибирь / Ю.П. Пармузин. – Москва: Наука, 1964. – 480 с.

40. Корпорация развития Красноярского края [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.krdc.ru/>.

41. Иванова, Г.А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири : Дис. ... д-ра биол. наук : 06.03.03/ Иванова Галина Александровна. - Красноярск, 2005. - 405 с.

42. Пономарев, Е.И. Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата/ Е.И. Пономарев, В.И. Харук// Сибирский экологический журнал. - 2016. № 1. - С.38-46.

43. Архивные данные метеостанции с метеорологического сайта [rp5.ru](http://rp5.ru) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rp5.ru/>.

44. Матвеев, П.М. Лесная пирология: Учебное пособие для студентов специальности 260400 всех форм обучения/ П.М. Матвеев, А.М. Матвеев. – Красноярск: Сиб ГТУ, 2002.- Табл.16, библиогр. назв. 131.

45. Приказ Рослесхоза от 5 июля 2011 г. № 287 Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды.

46. Мокеев, Г.А. Влияние природных и экономических условий на горимость лесов и охрану их от пожаров / Г.А. Мокеев // Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними. - М. Лес.пром., 1965

47. Описание программы ArcMap [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/en/home/>.

48. Школьник, И.М. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI века: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО / И.М. Школьник, В.П. Мелешко, С.В. Ефимов, К.Н. Стафеева // Метеорология и гидрология, - 2012. № 2. С. 5-22.

49. Соколов, В.А. Оценка потерь от лесных пожаров в Нижнем Приангарье /В.А. Соколов, С.К. Фарбер, О.П. Втюрина, А.И. Сухинин, Е.И. Пономарев// Интерэкспо Гео-Сибирь.- 2011. № 2. Т. 3. С.1-4.

50. Цветков, П.А., Буряк Л.В. Исследования природы пожаров в лесах Сибири / П. А. Цветков, Л. В. Буряк// Сибирский лесной журнал, - Красноярск, - 2014. № 3. С. 25–42.

51. Валендик, Э.Н. Лесные пожары в средней Сибири при аномальных погодных условиях/ Э. Н. Валендик, Е. К. Киселяхов, В. А. Рыжкова, Е. И. Пономарев, Й. Г. Голдаммер// Сибирский лесной журнал. - 2014. - № 3. С. 43–52.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

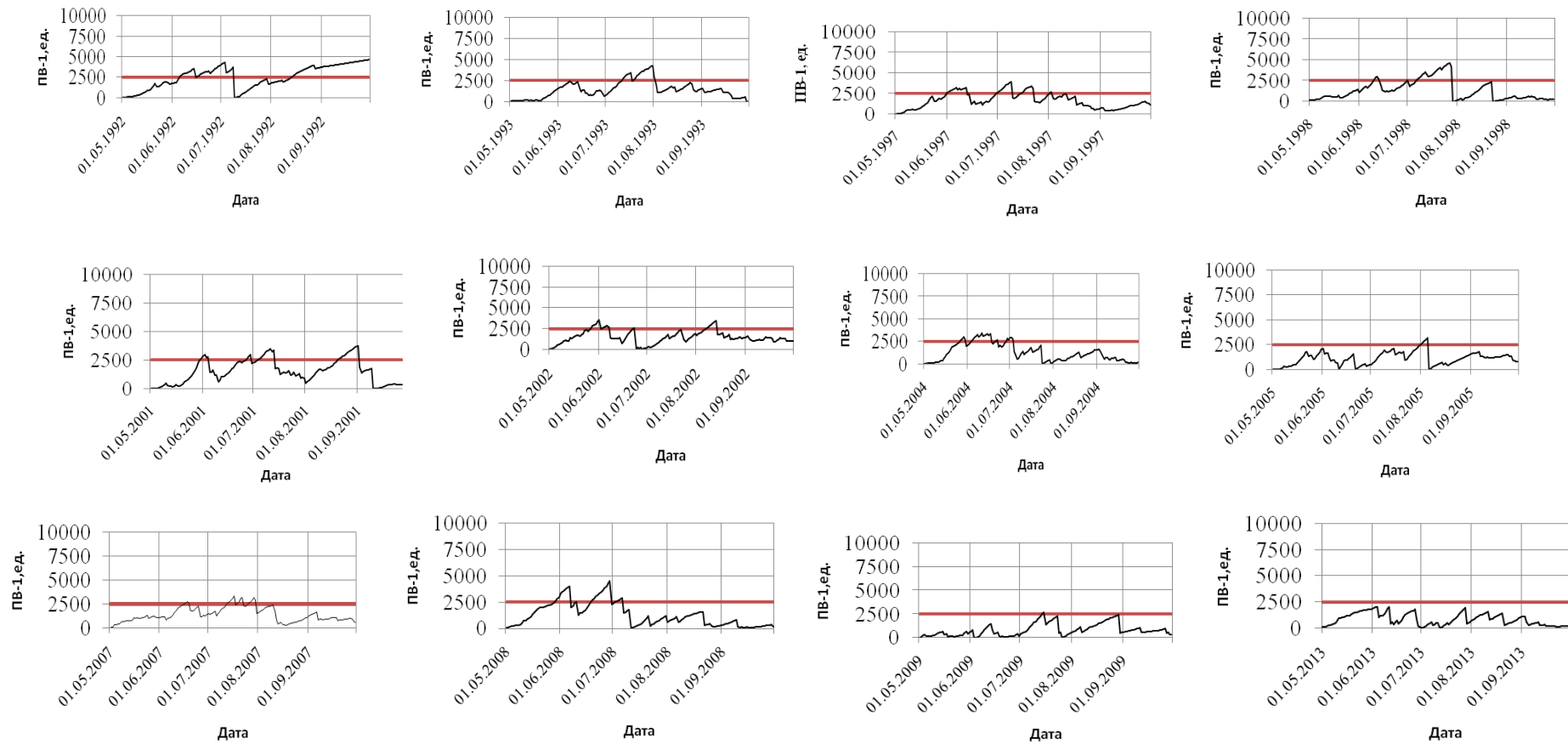
**Рисунок А.1 - Снимки со спутника Landsat 7. Район Красноярского  
Приангарья**



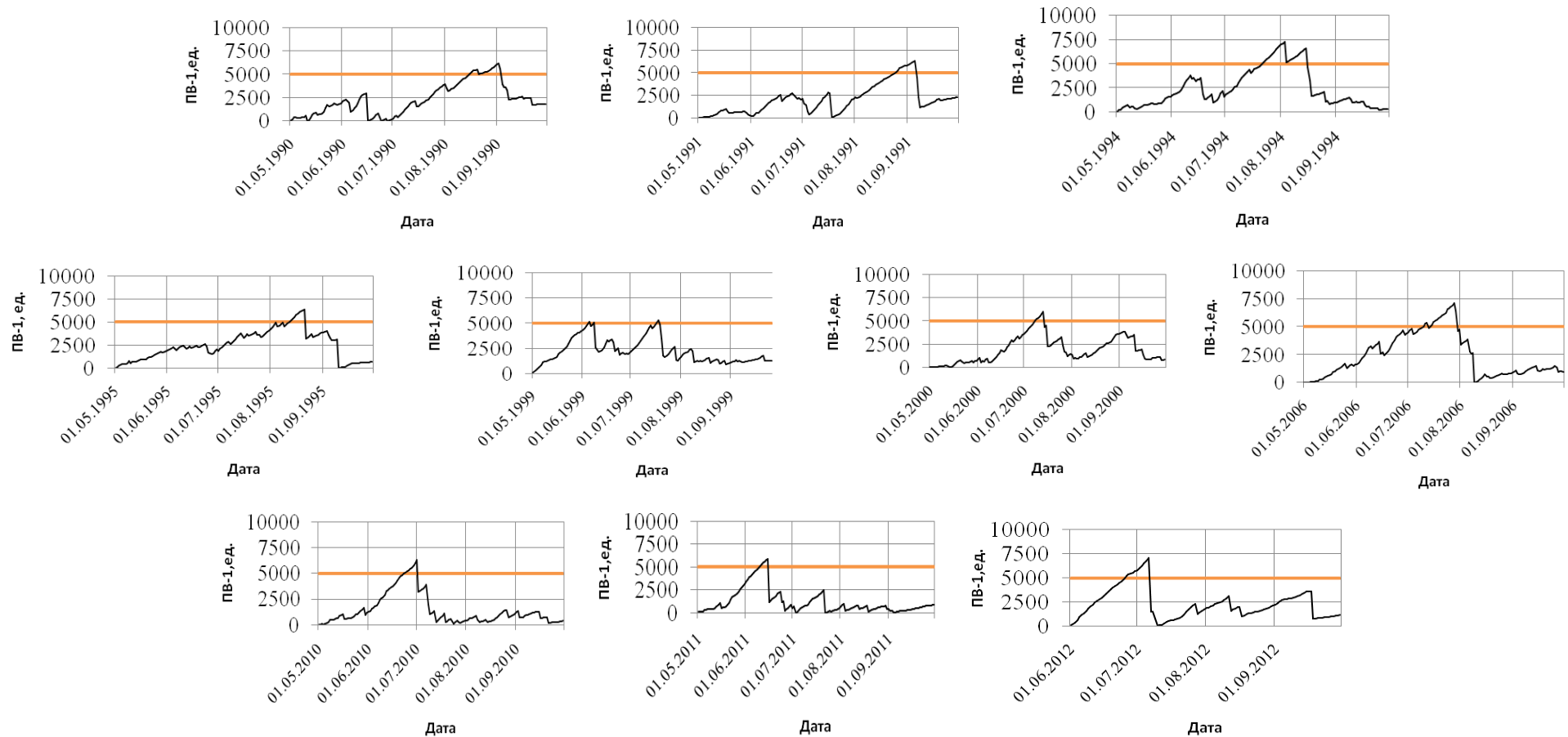


## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

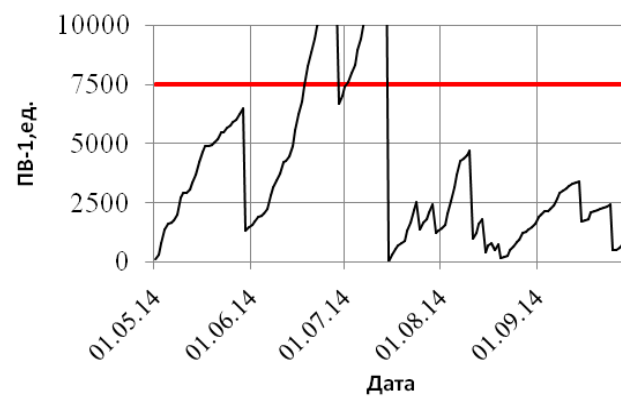
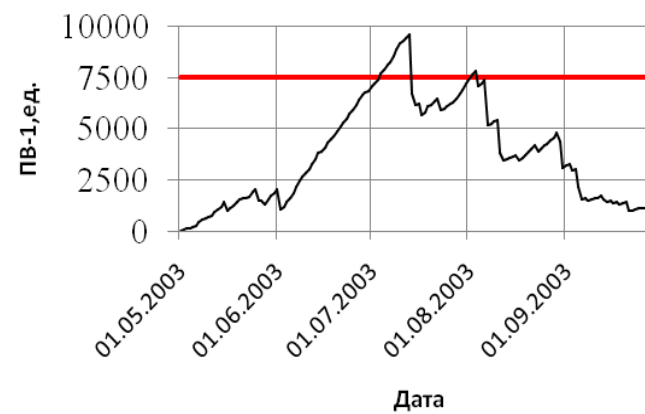
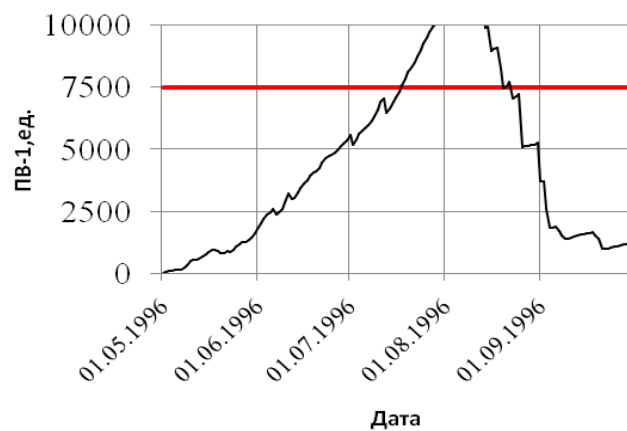
Рисунок Б.1 - Ряды показателя влажности ПВ-1 ( I тип сценария развития пожарной опасности)



**Рисунок Б.2 - Ряды показателя влажности ПВ-1 ( II тип сценария развития пожарной опасности)**



**Рисунок Б.3 - Ряды показателя влажности ПВ-1 ( III тип сценария развития пожарной опасности)**



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Рисунок В.1 - Значения гидротермического коэффициента Селянинова за период с 1990-1999 года**

1990	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК	1995	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК
май	335,944	53,594	1,60	май	250,445	13,716	0,55
июнь	448,333	137,16	3,06	июнь	402,666	41,148	1,02
июль	578,553	19,812	0,34	июль	576,891	24,638	0,43
август	526,391	13,208	0,25	август	559,444	20,574	0,37
сентябрь	203,386	30,734	1,51	сентябрь	241,167	43,18	1,79
1991	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК	1996	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК
май	234,668	36,322	1,55	май	208,998	13,208	0,63
июнь	472,443	35,528	0,75	июнь	464,889	8,128	0,17
июль	670,222	94,234	1,41	июль	698,275	7,112	0,10
август	521,614	3,556	0,07	август	430,723	31,75	0,74
сентябрь	287,888	32,766	1,14	сентябрь	151,276	38,862	2,57
1992	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК	1997	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК
май	326,941	21,59	0,66	май	326,002	26,162	0,80
июнь	435,611	17,764	0,41	июнь	473,666	46,736	0,99
июль	605,057	89,408	1,48	июль	574,224	48,514	0,84
август	522,998	9,652	0,18	август	471,442	80,264	1,70
сентябрь	174,339	2,54	0,15	сентябрь	266,386	33,782	1,27
1993	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК	1998	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК
май	213,555	36,83	1,72	май	243,333	33,274	1,37
июнь	462,388	58,928	1,27	июнь	429,889	45,212	1,05
июль	650,609	6,096	0,09	июль	579,944	82,804	1,43
август	484,391	55,626	1,15	август	551,222	122,936	2,23
сентябрь	219,667	72,39	3,30	сентябрь	185,611	54,61	2,94
1994	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК	1999	СУММА Т	СУММА ОСАДКОВ	ГТК
май	255,943	28,956	1,13	май	372,001	7,62	0,20
июнь	549,166	50,292	0,92	июнь	418,718	57,15	1,36
июль	660,556	5,588	0,08	июль	660,945	50,8	0,77
август	473,333	66,802	1,41	август	458,833	55,626	1,21
сентябрь	243,278	58,674	2,41	сентябрь	204,5	23,114	1,13

**Рисунок В.2 - Значения гидротермического коэффициента Селянинова за период с 2000-2014 года**

<b>2000</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2005</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2010 год</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>
май	257,447	92,964	3,61	май	278,222	24,892	0,89	МАЙ	246	25,1	1,02
июнь	557,999	55,88	1,00	июнь	483,561	133,096	2,75	ИЮНЬ	509	10,4	0,20
июль	575,167	57,15	0,99	июль	654,165	43,18	0,66	ИЮЛЬ	580	83,3	1,44
август	540,558	35,306	0,65	август	494,893	43,942	0,89	АВГУСТ	450,7	41,1	0,91
сентябрь	259,557	56,896	2,19	сентябрь	244,167	36,322	1,49	СЕНТЯБРЬ	231,6	42,1	1,82
<b>2001</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2006</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2011 год</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>
май	330,833	63,5	1,92	май	245,725	22,606	0,92	МАЙ	323,22	14,7	0,45
июнь	564,5	62,23	1,10	июнь	562,221	17,272	0,31	ИЮНЬ	580,3	42,1	0,73
июль	566,389	55,88	0,99	июль	617,11	22,606	0,37	ИЮЛЬ	542,7	97,2	1,79
август	566,778	23,622	0,42	август	407,389	79,502	1,95	АВГУСТ	484,1	65,5	1,35
сентябрь	236,055	90,424	3,83	сентябрь	294,503	36,83	1,25	СЕНТЯБРЬ	208,8	31,5	1,51
<b>2002</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2007</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2012 год</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>
май	373,444	20,32	0,54	май	265,501	34,036	1,28	МАЙ	279,9	16,3	0,58
июнь	502,778	128,778	2,56	июнь	432,443	45,466	1,05	ИЮНЬ	553,5	0,5	0,01
июль	642,835	53,086	0,83	июль	629,668	39,116	0,62	ИЮЛЬ	617,3	57,7	0,93
август	495,447	47,244	0,95	август	471,668	64,262	1,36	АВГУСТ	443,3	27,9	0,63
сентябрь	261,944	41,91	1,60	сентябрь	272,166	40,386	1,48	СЕНТЯБРЬ	335,8	28,2	0,84
<b>2003</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2008</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2013 год</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>
май	275,221	17,018	0,62	май	259,11	5,334	0,21	МАЙ	207,8	15,7	0,76
июнь	557,055	14,478	0,26	июнь	551,223	26,924	0,49	ИЮНЬ	467,6	67,6	1,45
июль	614,832	18,796	0,31	июль	553,333	57,404	1,04	ИЮЛЬ	539,4	74,2	1,38
август	504,501	38,862	0,77	август	445,722	68,072	1,53	АВГУСТ	513,8	30,5	0,59
сентябрь	267,504	44,196	1,65	сентябрь	247	54,102	2,19	СЕНТЯБРЬ	186,5	52,3	2,80
<b>2004</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2009 год</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>	<b>2014</b>	<b>СУММА Т</b>	<b>СУММА ОСАДКОВ</b>	<b>ГТК</b>
май	278,833	24,892	0,89	МАЙ	195,7	64,7	3,31	май	377	24,5	0,65
июнь	537,946	35,56	0,66	ИЮНЬ	458,8	116	2,53	июнь	655,3	22,2	0,34
июль	549,899	165,354	3,01	ИЮЛЬ	588,6	46,7	0,79	июль	743,6	39,4	0,53
август	444,666	41,402	0,93	АВГУСТ	489,8	37	0,76	август	599,8	58,4	0,97
сентябрь	268,778	89,154	3,32	СЕНТЯБРЬ	252,6	35,5	1,41	сентябрь	320,4	27,7	0,86